

12

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21 Anmeldenummer: 84107733.2

51 Int. Cl.⁴: **F 01 D 5/14**
F 04 D 29/68

22 Anmeldetag: 04.07.84

30 Priorität: 15.07.83 DE 3325663

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
13.02.85 Patentblatt 85/7

64 Benannte Vertragsstaaten:
AT CH DE FR GB IT LI SE

71 Anmelder: **MTU MOTOREN- UND TURBINEN-UNION**
MÜNCHEN GMBH
Dachauer Strasse 665 Postfach 50 06 40
D-8000 München 50(DE)

72 Erfinder: **Eckardt, Dietrich, Dr.-Ing.**
Irschenriederstrasse 13a
D-8000 München 60(DE)

72 Erfinder: **Schäffler, Arthur, Dipl.-Ing. grad.**
Ganghofer-Strasse 11
D-8061 Vierkirchen(DE)

54 Axial durchströmtes Schaufelgitter einer mit Gas oder Dampf betriebenen Turbine.

57 Axialschaufelgitter einer mit Gas oder Dampf betriebenen Turbine, mit zum Großteil laminarer Profilgrenzschicht, dessen Schaufel stromabwärts des Geschwindigkeitsmaximums auf der Saugseite (Profiloberseite) im Bereich der verzögerten Strömung eine im wesentlichen über die ganze Schaufelhöhe (H) reichende sägezahnartig profilierte Störkante aufweisen.

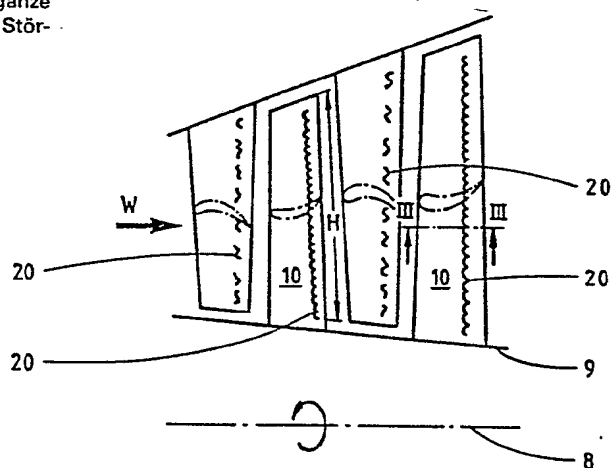


Fig.2

1

5 ba/fr

MTU MOTOREN- UND TURBINEN-UNION
MÜNCHEN GMBH

10

15 Axial durchströmtes Schaufelgitter
einer mit Gas oder Dampf betriebenen
Turbine

20

25 Die Erfindung bezieht sich auf ein axial durchströmtes
Schaufelgitter einer mit Gas oder Dampf betriebenen Tur-
bine, dessen Schaufelprofile so ausgebildet sind, daß die
Strömung entlang des größten Teils der saugseitigen Profil-
oberfläche (Unterdruckseite), bis zu einem Geschwindig-
30 keitsmaximum im Bereich der Kanalengfläche beschleunigt
wird, so daß die Profilgrenzschicht zum Großteil laminar
ist.

35 ESP-733

1

5 Abhängig vom Turbulenzgrad der Strömung, von der Größe
des Druckgradienten in Strömungsrichtung und von der
Reynoldszahl Re_2 , einem Ähnlichkeitsparameter, gebildet
aus der Profilsehnenlänge l , der Abströmgeschwindigkeit c_2
und der kinematischen Viskosität ν_2 am Austritt des Schau-
10 felgitters, schlägt die Grenzschicht unmittelbar oder
unter Ausbildung von Umschlag- oder Ablöseblasen in den
turbulenten Zustand um.

In Niederdruckturbinen, beispielsweise den Endstufen
15 axial durchströmter Fluggasturbinen, treten Reynolds-
zahlen zwischen 50 000 und 500 000 auf. Dieses Reynolds-
zahlenniveau liegt im laminar/turbulenten Umschlagbereich,
d. h. verzögerte laminare Grenzschichten ändern ihren
Strömungszustand unter Ausbildung stark verlustbehafteter
20 Umschlag- oder Ablöseblasen.

Bisher wurde angenommen, daß in vielstufigen Strömungs-
maschinen ein derart hoher Turbulenzgrad herrscht, daß
laminare Strömung entweder gänzlich unmöglich ist oder
25 aber der Grenzschichtumschlag bei Strömungsverzögerung
unmittelbar, d. h. ohne Blasenbildung erfolgt. Jüngste
Untersuchungen haben im Gegensatz dazu ergeben, daß im
Bereich der beschleunigten Strömung von ND-Turbinen
der laminare Grenzschichtzustand aufrechterhalten werden
30 kann, daß aber der Wirkungsgrad der Energieübertragung
durch Strömungsverluste im Zusammenhang mit laminar/
turbulenten Umschlag- bzw. Ablöseblasen erheblich be-
einträchtigt wird.

35

ESP-733

- 1 Aus der Fachliteratur zur Tragflügelaerodynamik ist es
bekannt, zur Vermeidung von laminaren Ablöseblasen beim
Übergang einer laminaren in eine turbulente Grenzschicht-
strömung mechanische Turbulatoren, wie Stolperdrähte,
5 hervorspringende Kanten, Stufen oder ähnliche Hinder-
nisse zu verwenden. Es hat sich gezeigt, daß die An-
ordnung solcher Turbulatoren auf der Oberfläche des
Tragflügelprofils den Widerstandsbeiwert des Profils
erhöhen und insbesondere dann zu merklichen Verlusten
10 führen/^{kann}, wenn ein höheres Reynoldszahlniveau erreicht
wird, d. h. in einem Bereich, in dem sie ihren eigentli-
chen Zweck, nämlich den Umschlag von laminarer in
turbulente Grenzschicht zu beschleunigen, wegen des von
selbst eintretenden, schnellen Umschlags ohne Blasenbildung
15 ohnehin nicht mehr erfüllen.

- Im technischen Bericht von Francis R. Hama, James D. Long
und John C. Hegarty vom August 1956 mit dem Titel
"On Transition from Laminar to Turbulent Flow", ver-
20 öffentlich durch Document Service Center, Dayton, Ohio,
U.S.A., werden Wassertankversuche über den Umschlag von
laminarer in turbulente Grenzschichtströmung an einer
ebenen Platte beschrieben, und es wird dort vorgeschlagen,
zur Herbeiführung des Umschlages von laminarer in turbu-
25 lente Grenzschichtströmung einen gewellten Draht oder
eine Reihe dünner dreieckiger Plättchen, die auf eine
flache Platte aufgeklebt sind, zu verwenden. Hinweise auf
aerodynamische Schaufelgitter finden sich in dieser Druck-
schrift nicht.

- 30 Turbomaschinen-
In der Praxis sind mechanische Turbulatoren bisher nicht
angewendet worden. Vielmehr ist aus der DE-PS 30 43 567
eine Anordnung zur Beeinflussung der Strömung an aero-
dynamischen Profilen bekannt geworden, bei der durch
35 Ausblasen von Fluid im Bereich der Ablösestelle der

- 1 laminaren Strömung ein schneller Umschlag in Turbulenz
erzielt wird und somit die Entstehung laminarer Ablöse-
blasen verhindert wird. Eine solche Anordnung hat den
Vorteil, daß in einem Betriebsbereich mit hohem Reynolds-
5 zahniveau, in dem laminare Ablöseblasen ohnehin nicht
mehr auftreten, keine Hindernisse am Tragflügelprofil
vorhanden sind und somit keine zusätzlichen Verluste
in Kauf genommen werden müssen. Ein Nachteil der
vorgenannten Anordnung besteht jedoch darin, daß der
10 Herstellungsaufwand für ein Tragflügelprofil mit der
vorgenannten Anordnung recht hoch ist. Für Schaufel-
gitter von Turbomaschinen, insbesondere dann, wenn es
sich um thermische Turbomaschinen handelt, ist eine
Anordnung nach der DE-PS 30 43 567 nicht oder nur sehr
15 begrenzt anwendbar, da aufgrund der vorkommenden hohen
mechanischen und thermischen Beanspruchung der Schaufeln
die Anordnung von entsprechenden Strömungskanälen zur
Führung des auszublasenden Fluids von Nachteil wären.
- 20 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, in axial durch-
strömten Schaufelgittern der eingangs genannten Art, also
insbesondere in solchen, in denen über einen großen Be-
triebsbereich aufgrund des Reynoldszahlniveaus laminare
Strömung herrscht, Profilverluste im Zusammenhang mit
25 laminar/turbulenten Umschlagblasen zu verringern und damit
den Gesamtwirkungsgrad der Turbine zu verbessern.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß
bei einem Axialschaufelgitter der eingangs genannten
30 Art stromabwärts des Geschwindigkeitsmaximums auf der
Saugseite (Profiloberseite) im Bereich der verzögerten
Strömung die Schaufeln eine durchgehende im wesentlichen
über die ganze Schaufelhöhe reichende in einer Tangential-
ebene zur Profiloberfläche sägezahnartig profilierte
35 Störkante aufweisen.

- 1 In einem erfindungsgemäß ausgebildeten Schaufelgitter erfolgt ein schneller Umschlag von laminarer in turbulente Grenzschichtströmung auf der Saugseite der Schaufeln ohne die Ausbildung von laminaren Ablöseblasen. Die besten Ergebnisse sind dabei zu erzielen, wenn die Störkante 0,01 bis 0,1 l stromabwärts des Geschwindigkeitsmaximums an der Schaufelsaugseite positioniert ist, wobei l die Länge der Profilsehne bedeutet.
- 10 Bei einer ersten bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ragt die Störkante über die Profiloberfläche der Schaufel geringfügig heraus. Sie kann dabei alternativ von einem auf der Profiloberfläche erhabenen angeordneten Band gebildet sein oder sie kann die freiliegende Kante einer von
- 15 der Profiloberfläche ausgebildeten in Strömungsrichtung vorspringenden Stufe sein.

Vorzugsweise soll die Höhe (k) der Störkante über der Profiloberfläche Werte in einem Bereich aufweisen, der abhängig von der Impulsverlustdicke δ_2 der Grenzschicht an einer Stelle unmittelbar stromaufwärts vor der Störkante und der für diese Stelle aus der Höhe (k), der Geschwindigkeit im Wandabstand (k) und der Viskosität des Fluids gebildeten Reynoldszahl Re_k bestimmt wird, wobei für $50 < Re_k < 200$ gelten soll $1,5 < k/\delta_2 < 3,5$

$$\delta_2 = \frac{1}{U^2} \cdot \int_0^{\infty} u (U-u)^2 dy$$

y = Wandabstandskoordinate

u = f(y) = Geschwindigkeitskomponente tangential zur Profiloberfläche

30 U = Geschwindigkeit in der durch Reibung nicht gestörten Strömung

$$Re_k = \frac{u_k \cdot k}{\nu_k}$$

35 ν_k = kinematische Zähigkeit des Fluids an der Stelle k.

- 1 Die sich aufgrund dieser Vorschrift ergebenden Stufenhöhen
der Störkante sind dabei so gering, daß auch bei höheren
Reynoldszahlen, bei denen sie als Auslöser für den Umschlag
von laminarer in turbulente Strömung nicht mehr benötigt
5 werden, nur minimale Verluste in Kauf zu nehmen sind.

- Dieser Vorteil eines hochwirksamen Turbulenzerzeugers mit
besonders geringem Strömungswiderstand wird auch bei den
Ausführungsformen nach den Patentansprüchen 6 und 7 erzielt,
10 wobei in diesen Fällen allerdings eine etwas größere Höhe
der Stufe vorzusehen ist, wie sie im Patentanspruch 8 ange-
geben ist, um das Entstehen von Ablöseblasen zu verhindern.

- Vorzugsweise sind die Störkanten in allen Fällen scharf-
15 kantig auszubilden. Das Sägezahnprofil der Störkante kann
am Zahnkopf und Zahngrund spitz oder abgerundet ausgebildet
sein. Besonders vorteilhaft im Sinne der Aufgabenstellung
ist es jedoch, wenn abwechselnd Zahnkopf und Zahngrund abge-
rundet und spitz ausgebildet sind. Es hat sich gezeigt, daß
20 durch diese Kombination bei minimaler Höhe der Störkante
der effektivste Grenzsichtumschlag erzielbar ist. Die geo-
metrische Ausbildung des Sägezahnprofils ist vorzugsweise
durch Öffnungswinkel α von 45° bis 120° und eine Teilung
von 5 % bis 15 % der Profilsehnenlänge bestimmt. Insoweit
25 ein Störband zur Ausbildung der Störkante verwendet ist,
soll dessen Breite b normal zur Störkante gemessen 0,05
bis 0,1 l betragen. Soweit die Störkante gemäß Anspruch 7
durch eine Senke in der Profiloberfläche gebildet wird, soll
diese Senke mit einem Neigungswinkel β von 3° bis 6° gegen
30 die Schaufeloberfläche verlaufen.

- Die Herstellung einer Schaufel für ein erfindungsgemäßes
Schaufelgitter erfolgt vorzugsweise dadurch, daß in einem
ersten Verfahrensschritt das mit Sägezahnprofil versehene
35 Band vorzugsweise durch Drahterodieren aus einer Blech-
platte ausgeschnitten wird und in einem zweiten Verfahrenss-
chritt auf die Schaufeloberfläche vorzugsweise durch
Schweißen aufgebracht wird.

- 1 Da sich die erfindungsgemäße Gestaltung eines Schaufel-
gitters ohne jede Schwierigkeit auch bei stark verwundenen
Schaufeln anwenden läßt, können bereits benutzte Schaufeln
in erfindungsgemäßer Weise nachgerüstet werden, wozu
5 vorzugsweise die in den Ansprüchen 17 bis 19 aufgezeigten
Verfahren zur Anwendung kommen.

Unter Bezugnahme auf die Zeichnung werden Ausführungsbei-
spiele der Erfindung erläutert; in der Zeichnung zeigen:

10

- Fig. 1 einen Ausschnitt aus einem Quer-
schnitt des Axialschaufelgitters einer
Niederdruckturbine mit dem Verlauf der
Oberflächenmachzahl und des Grenzschicht-
zustandes schematisch,
15

- Fig. 2 einen Meridianschnitt durch zwei Stufen einer
Niederdruckturbine deren Schaufeln mit er-
findungsgemäßen Störkanten versehen sind,
20

- Fig. 3 einen Querschnitt durch eine mit einem Band
versehene Laufschaufel entsprechend der
Linie III-III in Fig. 2 ausschnittsweise
vergrößert,
25

- Fig. 4a, b, jeweils eine Draufsicht entsprechend
Pfeilrichtung IV auf die Schaufel nach
Fig. 3, in zwei unterschiedlichen Sägezahn-
profilen,
30

- Fig. 5 einen Querschnitt durch eine mit einer vor-
springenden Stufe ausgebildeten Schaufel
analog zu Fig. 3,
35

- Fig. 6 eine Draufsicht auf die Schaufel ent-
sprechend Pfeilrichtung VI in Fig. 5 und

1 Fig. 7 ein Schrägbild der in Fig. 5 im Querschnitt
gezeigten Schaufel,

5 Fig. 8 einen Querschnitt entsprechend Fig. 5
einer mit zurückspringender Stufe ausge-
bildeten Schaufel,

10 Fig. 9 eine Draufsicht entsprechend Pfeilrich-
tung IX auf die Schaufel nach Fig. 8,

Fig. 10 einen Querschnitt entsprechend der Linie
III-III in Fig. 2 durch eine Laufschaufel,
bei der die Störkante durch eine in die
Profilloberfläche eingesenkte Stufe gebildet
15 wird,

Fig. 11 eine Draufsicht auf die Schaufel nach
Fig. 10 in Pfeilrichtung XI,

20 Fig. 12 einen Querschnitt entsprechend Fig. 9 einer
zweiten Ausführungsform einer Schaufel mit
eingesenkter Stufe.

In dem in Fig. 1 dargestellten Schaufelgitter
25 sind zwei benachbarte Axialschaufeln mit 10 bezeichnet.
Für die obere Schaufel 10 ist die Profilsehne 1 sowie
die in Richtung der Profilsehne 1 verlaufende Koordinate
x eingezeichnet. Zu- und Abströmung zum Schaufelgitter
sind mit Pfeilen angegeben. Für die untere Schaufel 10
30 ist der Grenzschichtverlauf schematisch angedeutet.
Daraus ergibt sich, daß auf der Druckseite 13 der Schau-
fel 10 über deren gesamter Länge sich eine laminare Grenz-
schicht ausbildet, während auf der Saugseite 11 der
Schaufel 10 die laminare Grenzschicht nur bis etwa
35 zum Geschwindigkeitsmaximum (Ma_{max}) im Bereich der

- 1 Engfläche 3 des von den beiden Schaufeln gebildeten Strömungskanals verläuft und sich stromabwärts der Engfläche 3 in dem mit Pfeil gekennzeichneten Bereich 2 laminare Ablöseblasen ausbilden, in deren Bereich die
- 5 Grenzschrift turbulent wird. Im unteren Teil der Fig. 1 ist über der dimensionslos aufgetragenen Profillänge $x : l$ die Machzahl/der ^{entlang der Oberfläche} Schaufel 10 aufgetragen. Das Geschwindigkeitsmaximum liegt etwa im Bereich der Engfläche, d. h. bei etwa $x : l = 0,55$. Um nun die
- 10 Ausbildung großer verlustbehafteter Ablöseblasen zu vermeiden, sind, wie in Fig. 2 angedeutet, auf der Profilo- oberseite (Saugseite) der Schaufeln durchgehende, im wesentlichen über die ganze Profiltiefe reichende säge- zahnartig gezackte Störkanten 20 angeordnet.
- 15 Sowohl die Leitschaufeln als auch die Laufschaufeln eines um die Achse 8 rotierenden Turbinenläufers 9 sind mit Störkanten versehen. Die in der Zeichenebene nicht sichtbaren Störkanten der Leitschaufeln sind
- 20 unterbrochen gezeichnet. Die Strömungsrichtung durch das Gitter ist in sämtlichen Figuren mit einem Pfeil w angegeben.
- Es hat sich gezeigt, daß die geringsten Profilverluste
- 25 dann erreicht werden, wenn die Störkanten 0,01 bis 0,1 l (l = Länge der Profilschne der Schaufel) stromabwärts des Geschwindigkeitsmaximums auf der Saugseite der Schaufel positioniert sind.
- 30 Wie sich aus dem in Fig. 3 dargestellten Teilquerschnitt einer Laufschaufel 10 ergibt, wird die Störkante bei dieser ersten Ausführungsform der Erfindung durch ein auf der Profiloberfläche der Schaufel befestigtes Band 15 gebildet. Das Band 15 kann aus einer ebenen Blechplatte

35

ESP-733

1 ausgeschnitten sein und durch Schweißen auf der Profil-
oberfläche der Schaufel befestigt sein. Die Höhe des
Bandes 15 und damit die Höhe der Störkante 20 über der
Profiloberfläche 12 ist mit k bezeichnet. Die übrige
5 geometrische Ausbildung des Bandes 15 ist in zwei alter-
nativen Ausführungsformen in Fig. 4a und Fig. 4b darge-
stellt. Die beiden Ausführungsformen nach Fig. 4a und
Fig. 4b unterscheiden sich dadurch, daß bei der Aus-
führung nach Fig. 4a jeweils der ^(stromauf liegende) Zahnkopf 21 des Säge-
10 zahnprofils abgerundet und der Zahngrund 22 spitz ausge-
bildet ist, wogegen bei der Ausführungsform nach Fig. 4b
der Zahnkopf 21 einen spitzen Scheitel ausbildet und
der Zahngrund 22 abgerundet ist. Die Teilung t des Säge-
zahnprofils soll 0,05 bis 0,15 l betragen. Der Öffnungs-
15 winkel α des Sägezahnprofils liegt beim gezeigten Aus-
führungsbeispiel bei 90° . Die Breite b des Bandes soll
etwa 0,01 bis 0,03 l sein. Die Störkante 20, d. h. die
der ankommenden Strömung w entgegengerichtete obere Kante
des Bandes 15 soll scharfkantig ausgebildet sein. Dies
20 gilt auch für die in den Fig. 5, 8, 10 und 12 dargestell-
ten Ausführungsformen von Störkanten. Anstelle der in
Fig. 4a und Fig. 4b gezeigten abwechselnd am Zahnkopf
und am Zahngrund abgerundeten Störkanten sind auch Aus-
führungsformen möglich, die sowohl am Zahnkopf als auch
25 am Zahngrund abgerundet sind oder an beiden Stellen spitz
zulaufen.

Für eine entsprechend den Fig. 2 bis 4 gestaltete Nieder-
druckturbinenschaufel eines Gasturbinenstrahltrieb-
30 werks mit einer Profilsehnenlänge ($l = 35$ mm) ergab
sich bei einer Flugmachzahl $Ma = 0,8$ in 10,7 km Höhe,
d. h. bei einer Reynoldszahl $Re_2 \approx 100\ 000$ erfindungsgemäß
eine Höhe k von 0,06 bis 0,12 mm. Vergleichsversuche er-
gaben, daß sich bei einem entsprechend ausgerüsteten
35 Strahltriebwerk der Treibstoffverbrauch im

1 Reiseflug, der bekanntlich den längsten Teil einer
Flugmission für Verkehrsflugzeuge ausmacht, um ca. 1 %
senken läßt.

5 In den Fig. 5 bis 7 ist eine zweite grundlegende Stör-
kantenausbildung offenbart. Wie der Teilquerschnitt durch
eine Schaufel gemäß Fig. 5 zeigt, ist bei dieser Aus-
führungsform die Störkante 30 die freiliegende Kante einer
von der Profiloberfläche 12 ausgebildeten in Strömungs-
10 richtung vorspringenden Stufe. Eine solche Ausbildung der
Störkante ist nur für die Neufertigung einer Schaufel
geeignet. Wie sich aus der Draufsicht gemäß Fig. 6 und
aus dem Schrägbild einer entsprechend ausgebildeten Schau-
fel gemäß Fig. 7 ergibt, sind die Köpfe des Sägezahnprofils
15 jeweils spitz ausgebildet, während der Grundbereich abge-
rundet ist. Die Teilung t und der Öffnungswinkel α liegen
in derselben Größenordnung wie im Zusammenhang mit der
Ausführungsform nach den Fig. 3 und 4 beschrieben.

20 In den Fig. 8 und 9 ist eine Alternative zu der Ausführungs-
form nach den Fig. 5 bis 7 gezeigt, bei der ebenfalls eine
gestufte Profiloberfläche 12 vorgesehen ist, im Unter-
schied zu der Ausbildung nach den Fig. 5 bis 7 jedoch die
Störkante 40 die freiliegende Kante einer in Strömungs-
25 richtung (w) zurückspringenden Stufe ist.

Auch bei der Ausführungsform nach den Fig. 8 und 9 ist
der Zahngrund 41 des Sägezahnprofils abgerundet, während
der Zahnkopf 42 einen spitzen Scheitel ausbildet.

30 Eine weitere grundlegende Störkantenausbildung ist in den
Fig. 10 bis 12 dargestellt. Bei dieser Ausführung entsteht
die Störkante durch Einsenken einer Stufe in die Profil-
oberfläche 12 der Schaufel 10. Die Einsenkung erfolgt
35 dabei konisch unter einem Neigungswinkel β der zwischen
3° und 6° gegen die Schaufeloberfläche 12 verläuft.

- 1 Der Übergang von der Schaufeloberfläche 12 zur Senke soll
dabei stetig erfolgen. Alternativ kann die Störkante durch
eine der Strömung entgegengerichtete Stufe gebildet sein
(Störkante 50), wie es in Fig. 10 gezeigt ist oder es
5 kann die Störkante bezogen auf die Strömungsrichtung w
stromabwärts gerichtet sein (Störkante 60), wie es in
Fig. 12 dargestellt ist. Die geometrische Ausbildung des
Sägezahnprofils erfolgt in entsprechender Weise wie bei
den Störkantenausbildungen in den Fig. 3 bis 9, wobei
10 eine Ausführung mit gerundetem Zahnkopf und Zahngrund
gemäß Fig. 11 bevorzugt ist.

15

20

25

30

35

1 ba/fr

MTU MOTOREN- UND TURBINEN-UNION
MÜNCHEN GMBH

5

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Axial durchströmtes Schaufelgitter einer mit Gas oder
10 Dampf betriebenen Turbine, dessen Schaufelprofile so
ausgebildet sind, daß die Strömung entlang des größten
Teils der saugseitigen Profiloberfläche (Unterdruck-
seite), bis zu einem Geschwindigkeitsmaximum im Bereich
15 der Kanalengfläche beschleunigt und stromab davon bis
zur Profilhinterkante verzögert wird, so daß die Profil-
grenzschicht über den Großteil der saugseitigen Profil-
länge laminar ist (Laminarprofil), dadurch gekennzeichnet,
daß, wie für Turbulenzprofile bekannt, stromabwärts des Ge-
20 schwindigkeitsmaximums auf der Saugseite (Profiloberseite)
(11) im Bereich der verzögerten Strömung die Schaufeln (10)
eine durchgehende, im wesentlichen über die ganze Schaufel-
höhe (H) reichende Störkante aufweisen, daß die Störkante
in einer Tangentialebene zur Profiloberfläche (12) säge-
25 zahnartig profiliert ist und daß die Störkante in der
Profiloberfläche (12) selbst oder nur in solch geringer
Höhe über der Profiloberfläche (12) liegt, daß Auswirkungen
auf die Hauptströmung durch Querschnittsänderung des Kanals
ausgeschlossen sind.
- 30 2. Schaufelgitter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
daß die Störkante (20) von einem auf der Profilober-
fläche (12) erhaben angeordneten Band (15) gebildet
wird.

35 ESP-733

- 1 3. Schaufelgitter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
daß die Störkante (30) die freiliegende Kante einer von
der Profiloberfläche (12) ausgebildeten in Strömungs-
richtung vorspringenden Stufe ist.
- 5 4. Schaufelgitter nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch ge-
kennzeichnet, daß die Höhe (k) der Störkante Werte in
einem Bereich aufweist, der abhängig von der Impuls-
verlustdicke δ_2 der ^{saugseitigen} Grenzschicht an einer Stelle un-
mittelbar stromaufwärts vor der Störkante (20, 30)
10 und der für diese Stelle aus der Höhe (k), der Ge-
schwindigkeit im Wandabstand (k) und der Viskosität
des Fluids gebildeten Reynoldszahl Re_k bestimmt
wird, wobei für $50 < Re_k < 200$ gelten soll $1,5 < k/\delta_2 < 3,5$
15 $\delta_2 = \frac{1}{U^2} \cdot \int_0^{\infty} u (U-u) dy$
y = Wandabstandskoordinate
u = f(y) = Geschwindigkeitskomponente tangential
zur Profiloberfläche
U = Geschwindigkeit in der durch Reibung nicht
20 gestörten Strömung
 $Re_k = \frac{u_k \cdot k}{\nu_k}$
 ν_k = kinematische Zähigkeit des Fluids an der Stelle k.
- 25 5. Schaufelgitter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
daß die Störkante (40) die freiliegende Kante einer von
der Profiloberfläche (12) ausgebildeten in Strömungs-
richtung zurückspringenden Stufe ist.
- 30 6. Schaufelgitter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
daß die Störkante durch eine in die Profiloberfläche (12)
eingesenkte Stufe gebildet wird.
- 35 7. Schaufelgitter nach den Ansprüchen 5 und 6, dadurch ge-
kennzeichnet, daß die Höhe (k) der Stufe in der Profil-

- 1 oberfläche Werte in einem Bereich aufweist, der abhängig
von der Impulsverlustdicke δ_2 der Grenzschicht an einer
Stelle unmittelbar stromaufwärts vor der Störkante
(40, 50, 60) und der für diese Stelle aus der Höhe (k)
5 der Geschwindigkeit im Wandabstand (k) und der Viskosi-
tät des Fluids gebildeten Reynoldszahl Re_k bestimmt
wird, wobei für $200 < Re_k < 500$ gelten soll $2 < k/\delta_2 < 4,5$
(Definition der Funktionsgrößen wie Anspruch 5).
- 10 8. Schaufelgitter nach den Ansprüchen 1 bis 7, dadurch ge-
kennzeichnet, daß die Störkante (20, 30, 40, 50, 60)
scharfkantig ausgebildet ist.
- 15 9. Schaufelgitter nach den Ansprüchen 1 bis 8, dadurch ge-
kennzeichnet, daß das Sägezahnprofil der Störkante
sowohl am Zahnkopf als auch am Zahngrund spitz ausge-
bildet ist.
- 20 10. Schaufelgitter nach den Ansprüchen 1 bis 9, dadurch ge-
kennzeichnet, daß das Sägezahnprofil der Störkante
sowohl am Zahnkopf als auch am Zahngrund abgerundet
ist.
- 25 11. Schaufelgitter nach den Ansprüchen 1 bis 9, dadurch ge-
kennzeichnet, daß das Sägezahnprofil der Störkante ab-
wechselnd am Zahnkopf und am Zahngrund spitz und
abgerundet ausgebildet ist.
- 30 12. Schaufelgitter nach den Ansprüchen 1 bis 11, dadurch ge-
kennzeichnet, daß das Sägezahnprofil der Störkante
(20, 30, 40, 50, 60) einen Öffnungswinkel α von 45° bis
 120° und eine Teilung (t) von 5 % bis 15 % der Profil-
sehnenlänge (l) aufweist.
- 35 13. Schaufelgitter nach den Ansprüchen 3, 5 und 8 bis 12,
dadurch gekennzeichnet, daß die Breite b des Stör-
bandes, normal zur Störkante gemessen, 0,05 bis 0,1 l
beträgt.

- 1 14. Schaufelgitter nach den Ansprüchen 7 bis 13, dadurch
gekennzeichnet, daß die die Störkante (50, 60) bilden-
de Senke mit einem Neigungswinkel β von 3 bis 6° gegen
die Schaufeloberfläche (12) verläuft.
- 5 15. Verfahren zur Herstellung einer Schaufel für ein Schau-
felgitter nach den Ansprüchen 3, 5 und 8 bis 14, da-
durch gekennzeichnet, daß in einem 1. Verfahrensschritt
das mit dem Sägezahnprofil versehene Band vorzugs-
10 weise durch Drahterodieren aus einer Blechplatte aus-
geschnitten wird und in einem 2. Verfahrensschritt
auf die Schaufeloberfläche vorzugsweise durch Schweißen
aufgebracht wird.
- 15 16. Nachrüstung einer Schaufel mit glatter Oberfläche für
ein Schaufelgitter nach den Ansprüchen 3, 5 und 8 bis
13, gekennzeichnet durch das Aufbringen des Störbandes
mittels des Maskenspritz- oder Aufdampfverfahrens.
- 20 17. Nachrüstung einer Schaufel mit glatter Oberfläche
für ein Schaufelgitter nach den Ansprüchen 3, 5 und
8 bis 13, gekennzeichnet durch das Aufbringen des
Störbandes mittels einer Lötfolie.
- 25 18. Nachrüstung einer Schaufel mit glatter Oberfläche
für ein Schaufelgitter nach den Ansprüchen 4 bis 13
und 15, gekennzeichnet durch Anwendung des elektro-
chemischen oder funkenerosiven Senkens.
- 30
- 35

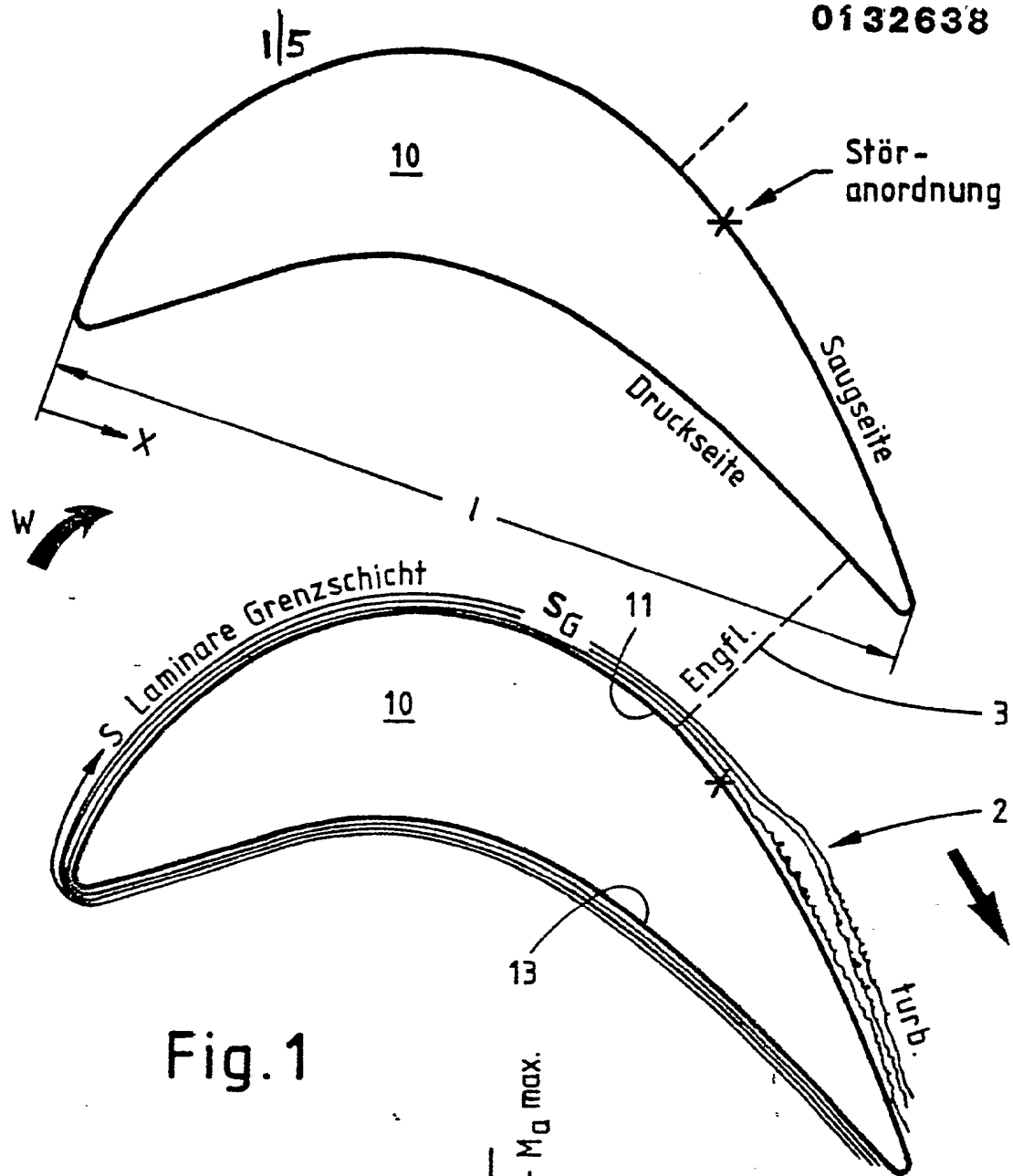
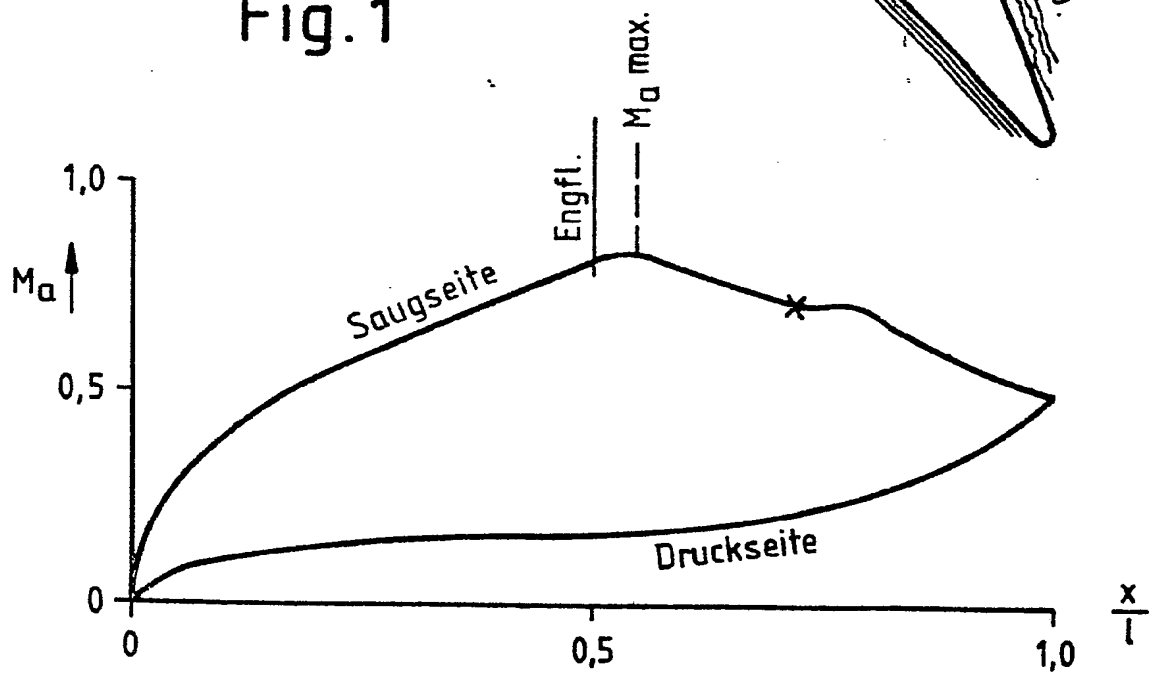
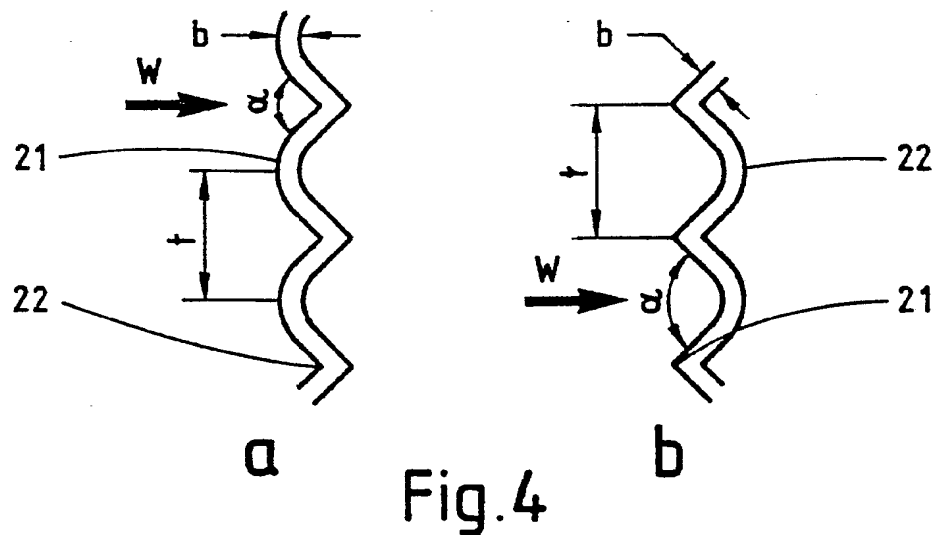
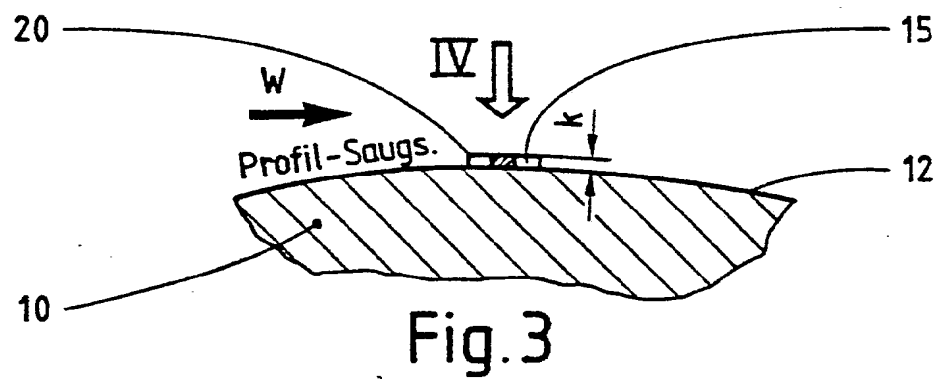
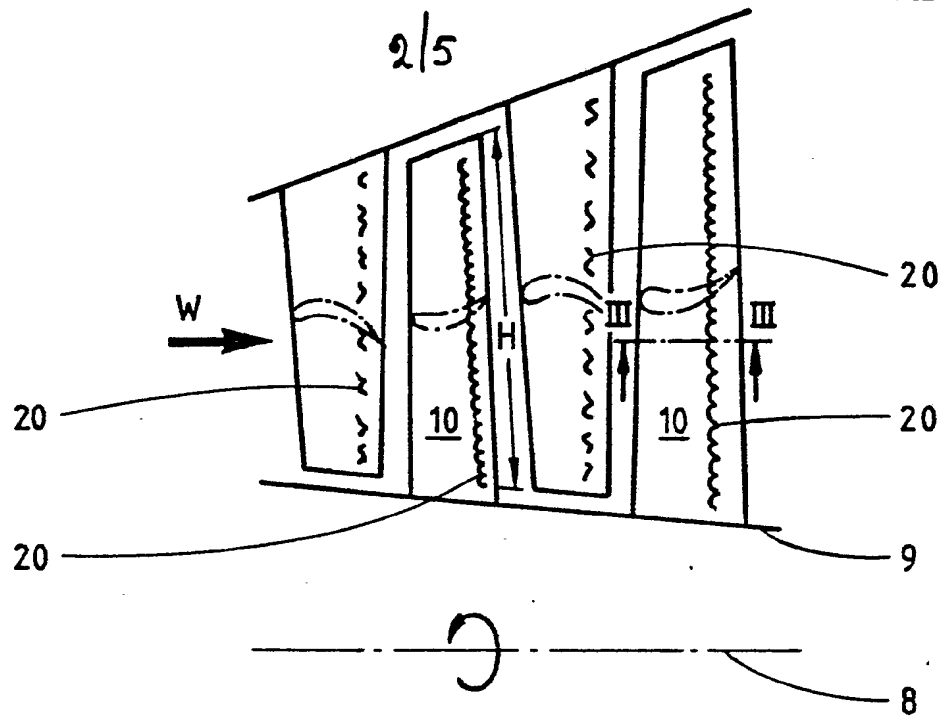


Fig. 1





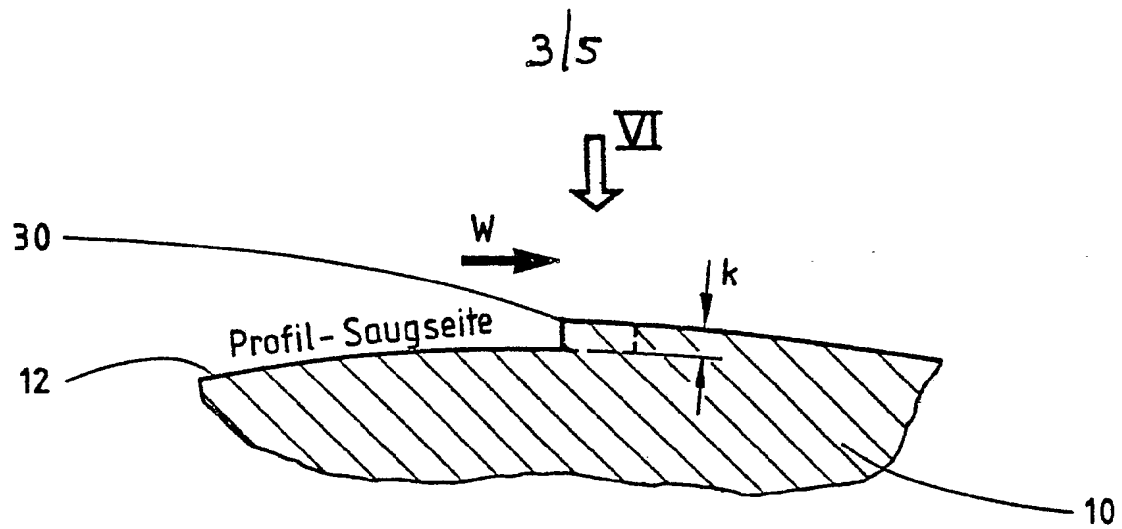


Fig. 5

Ansicht VI

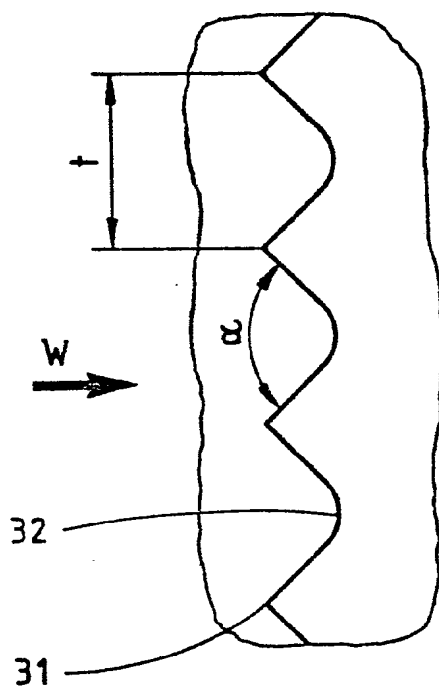


Fig. 6

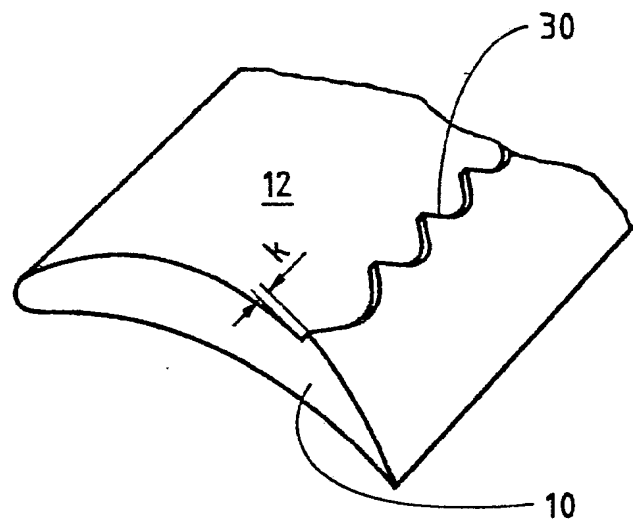


Fig. 7

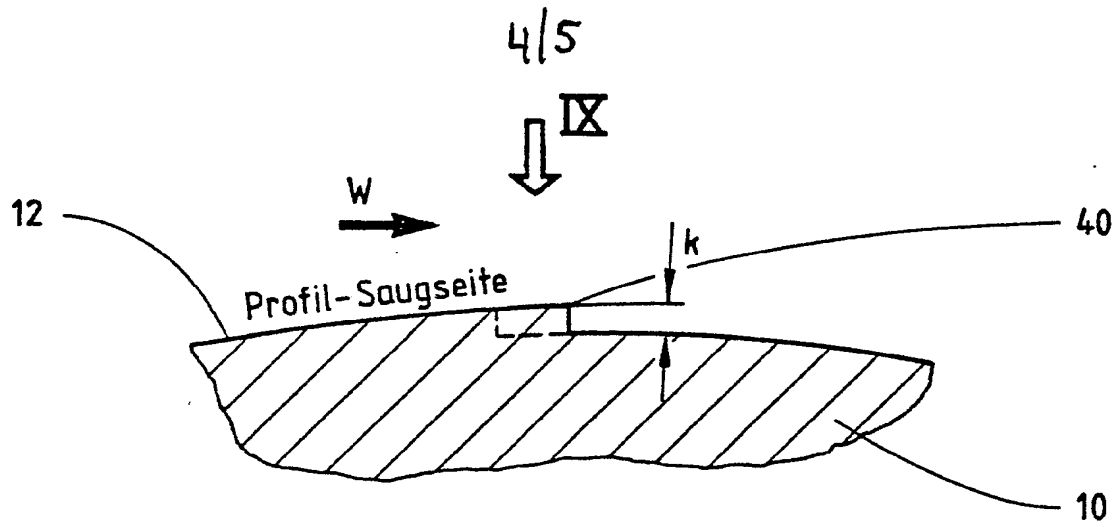


Fig. 8

Ansicht IX

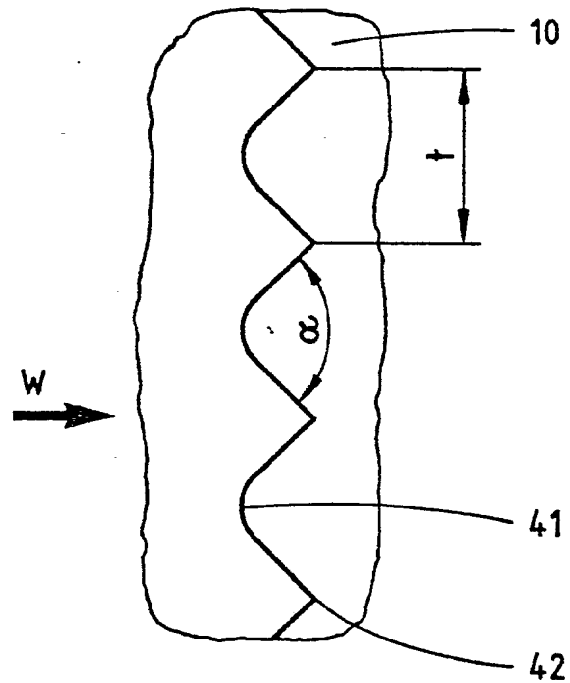


Fig. 9

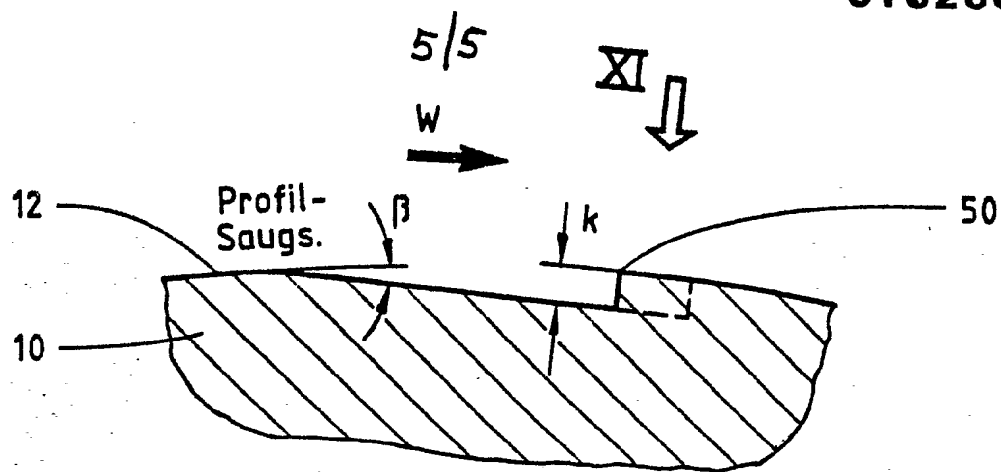
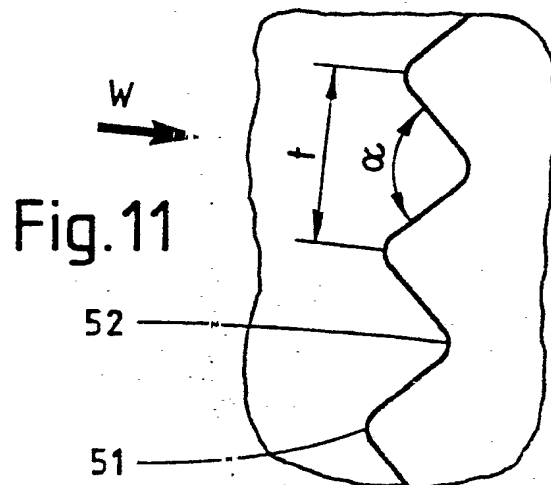


Fig. 10



Ansicht XI

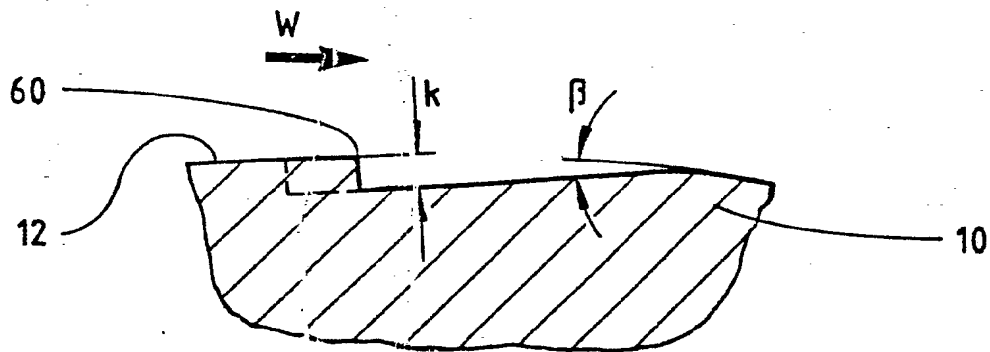


Fig. 12